

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200429010

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

牙齿压力分布测量系统研究

A Study of Pressure Distribution Measurement
System for Tooth

黄 榕 熙

指导教师姓名: 胡 国 清 教授、博导

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2007 年 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

咬合接触是牙齿、牙周组织、下颌以及相关的神经肌肉协同作用的结果。由于形态与功能不调所引起的口颌系统功能紊乱称为咬合病。牙齿上下齿间咬合力的大小和分布特性是牙科医生诊断病人牙齿咬合状况的重要依据之一。测量牙齿咬合力，国内一般采用光合片、美国Tekscan公司的T-Scan咬合测定分析仪或者采用单个传感器测量，尚无自主研发的检测牙齿咬力分布特性的测量系统。正是在这样的背景下，本文设计了一个可以测量16对牙齿咬合力大小分布的测量系统。

本论文主要研究工作如下：

1. 详细讨论和研究了几种用于压力分布测量系统的传感器技术，提出了用于牙齿咬力的传感器的原理，即压阻式，选择复合材料导电橡胶作为传感器敏感元件所使用的敏感材料。

2. 以一个医用牙齿模型为基础利用导电橡胶的压阻特性设计了一个测力阵列传感器，阐述了传感器阵列的设计方法和结构，在此基础上提出了牙齿压力分布测量系统的总体方案，即采用虚拟仪器技术构建测力系统。

3. 研究了智能传感器系统的非线性校正原理，相应的以现有的材料设计了一个校正工具，设计了传感器阵列的信号引出电路，并用MATLAB工具对传感器的输出输入特性进行曲线拟合。

4. 研究了虚拟仪器技术，传感器阵列的信号经检出电路引出后通过采集卡接到计算机上构成测力系统。采集卡采用美国NI公司的USB6009数据采集卡，软件采用LabVIEW，提出了系统的软件构建功能图，分别用DAQ助手和软件底层vi编制了数据采集模块，讨论了它们的优缺点，设计了采集信号的分析处理和显示模块，并探讨了数据采集系统下的抗干扰设计。综合运用前面的设计结果搭建了用于测量牙齿压力分布的系统，用所做的传感器阵列测量牙齿咬合模型在不同咬合情况下的咬力分布，并在电脑上显示了对应的力的分布情况，验证了设计的可行性。最后对系统的误差来源进行了分析讨论。

关键词：牙齿；阵列传感器；压力分布；虚拟仪器

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

Occlusal contact is the result which cooperates by teeth, periodontium, lower jaw and interrelated nerval muscles. Modality and function disharmony can arise mouth dysfunction, it is called occlusal illness. Bite force and its distribution are very important for dentist to diagnose the occlusal contact status. In our country, people use Photocclusion Methods, T-scan II system or simple sensor for measurement, without homemade measurement system. The author tries to design a system which uses 16 sensors to measure the distribution of bite force.

The main contents of the thesis are summarized as follows:

1. Sensor is the core of pressure distribution measurement system. The general structure of the measurement system and its sensor technology are described in this paper. In terms of the demand of the design and theoretical analysis, the press-resistive method is chosen for sensor, and conductive rubber is chosen for sensor sensitive material as it is facile, low cost, easily to produce and its resistance change greatly with the pressure pushed on it.

2. Based on the press-resistive property of the conductive rubber and specification, which references to a tooth model from hospital, a sensor array is designed, as well as its manufacturing method and technics. According to the revised theory for smart transducer, a revised instrument is designed with handy materials.

3. The signal process hardware circuits for sensor array are designed. The anti-jamming technology for Data Acquisition is analyzed. The DAQ card is USB-6009 from NI Corporation. The software of the system is programed by LabVIEW including data acquire block, data process block and display block.

4. The sensor array is proofreaded by means of a revised instrument. The formula is equated by MATLAB for linearity with input and output of transducers. The measurement system is used to measure the occlusal contact pressure distribution under two conditions. From experiments the satisfactory results are got, so the sensor technology based on conductive rubber is feasible. At last the sources of error in the system is studied.

Keywords: Tooth; Sensor array; Pressure distribution; Virtual Instrument

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 课题的研究背景	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 本论文主要内容和工作	4
第二章 测力系统传感器设计原理研究	5
2.1 引言	5
2.2 几种典型的压力分布测量用传感器	5
2.3 影响传感器精度的主要因素	13
2.4 传感器传感原理的对比评价	14
2.5 传感器敏感材料的对比评价	14
2.6 本系统采用的传感原理和敏感材料	18
2.7 导电橡胶在传感器中的应用	19
2.7.1 概述.....	19
2.7.2 作为敏感材料的优点.....	21
2.7.3 压阻特性在传感器中的应用.....	22
2.8 小结	24
第三章 牙齿测力系统的总体设计	25
3.1 测力传感器构造	25
3.2 系统总体方案	28
3.3 小结	29
第四章 非线性校正系统的实现	30
4.1 非线性自校正技术原理	30
4.2 校正装置设计	36
4.3 阵列传感器检出电路设计	42

4.4 非线性校正实现	43
4.5 小结	47
第五章 牙齿测力系统的实现.....	48
5.1 虚拟仪器的概念	48
5.1.1 虚拟仪器的发展历程及其趋势.....	49
5.1.2 虚拟仪器的集成开发环境.....	51
5.2 LabVIEW 简介	52
5.2.1 LabVIEW 的特点	52
5.2.2 LabVIEW 的工作界面及其开发环境.....	53
5.3 基于 LabVIEW 编程语言的数据采集	55
5.4 软件系统构建	57
5.5 数据采集与显示模块	58
5.6 数据分析处理模块	66
5.7 抗电磁干扰分析	69
5.8 测力系统的实现	71
5.9 实验误差分析	75
5.10 小结	76
第六章 结论.....	77
符号表.....	79
参考文献.....	81
致 谢.....	85
硕士期间发表学术论文.....	86

Contents

Chaper <u>I</u> Introduction	1
1.1 Research backgroud	1
1.2 Research status	3
1.3 The main researching contents of the thesis	4
Chapter <u>II</u> The theory of sensors.....	5
2.1 Foreword.....	5
2.2 Some typical sensors of pressure distribution	5
2.3 Main factors influencing sensor precision	13
2.4 Transducing theory comparison	14
2.5 Sensitive material comparison	14
2.6 The theory and material adopted in the design.....	18
2.7 The application of the conductive rubber on sensor.....	19
2.7.1 Introduction	19
2.7.2 The advantages of sensitive material	21
2.7.3 The application of pressure-resistance properties on sensor.....	22
2.8 Summary.....	24
Chapter <u>III</u> The design of measuremnt system for tooth.....	25
3.1 Pressure sensor structure	25
3.2 The project of system	28
3.3 Summary.....	29
Chapter <u>IV</u> Nonlinear revise system	30
4.1 Nonlinear revise principle	30
4.2 Revised instrument design	36

4.3 The process hardware circuits design	42
4.4 The realization of nonlinear proofread	43
4.5 Summary.....	47
Chapter V Realization of measurement system for tooth.....	48
5.1 Virtual instrument conception.....	48
5.1.1 Phylogeny of virtual instrument and its future	49
5.1.2 Integration development environment of virtual instrument	51
5.2 Brief introduction of LabVIEW	52
5.2.1 Characteristics of LabVIEW	52
5.2.2 Work panel and development environment in LabVIEW	53
5.3 Data acquisition on LabVIEW	55
5.4 Construction of software system.....	57
5.5 The block of the data acquisition and display	58
5.6 The block of the data analysis.....	66
5.7 The anti-jamming analysis.....	69
5.8 The realization of the measurement system.....	71
5.9 The analysis of error in the system.....	75
5.10 Summary.....	76
Chapter VI Conclusions	77
List of symbols.....	79
References	81
Acknowledgements	85
Publications	86

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪 论

1.1 课题的研究背景

咬合接触是牙齿、牙周组织、下颌以及相关的神经肌肉协同作用的结果^[1]。由于形态与功能不调所引起的口颌系统功能紊乱称为咬合病^[2,3]。咬合病是一种常见病,也是疑难病^[2,4,5]。全面客观地检查、评价咬合的性质与状态,对于提高防治咬合病的临床水平,准确有效地判断致病因素具有重要意义^[2]。

在口腔修复科中,牙体修复不仅要修复缺损及恢复牙体形态,而且还要考虑到修复后的牙体与对颌牙的牙合接触关系,在咬合及下颌运动中发挥正常生理功能。咬合接触分析可以用来判断修复体对咬合及下颌功能运动的影响^[1]。

在正颌外科中,据 Kazunori Ohkura 报道^[6],正颌外科手术患者的咬合接触面积在术后 1-3 年逐年增加,男女之间咬合接触面积没有显著差异,但术后 3 年的咬合接触面仍小于正常对照组。Harada 研究发现^[7],双侧下颌升支矢状骨术患者的咬合接触面积,在术后 2 周时降至最低,术后 3 个月恢复到术前水平,术后 6 个月可超过术前水平,但术后 6 个月的咬合接触面积仍只有正常对照组的一半或更少^[1]。

在牙周病科中,不良的咬合接触,不仅可导致牙体疾病,还可导致牙周疾病。张玉玮等报道^[8],早接触对牙龈、牙周组织具有明显影响。当早接触点面积 $<6\text{mm}^2$ 时,牙充血增生的发生率明显增加;早接触点面积 $>6\text{mm}^2$ 时,牙充血增生表现反而不明显,而牙周萎缩的发生率却显著增加。早接触患者牙合关系不稳定,牙周膜增宽或硬骨板密度减低等线特征与早接触面积大小有关,早接触面积愈大骨质损害愈轻,反之亦然。金力坚报告^[9],86%的牙周炎患者不同程度存在着正中关系牙合-牙尖交错牙合的干扰^[1]。

在口腔正畸科中,正畸治疗不仅要改善牙、颌面美观,而且要注意咬合功能的改善。良好的咬合接触以及窝交错关系是获得稳定的正畸治疗效果的关键因素^[1]。

Christopher 等在研究安氏 I 类、II 类错(牙合)拔除前磨牙病例矫治前、矫治

后及保持后的后牙咬合接触时发现^[10]：按传统的标准分析虽然获得了很好的牙齿排列效果，但是后牙低于 0.3 mm 的咬合接触区域明显减少。经过长时间的保持后，后牙低于 0.3 mm 的咬合接触区域亦没有明显增加。咬合接触可能是影响牙合覆盖稳定的因素之一^[11]。

牙齿咬合力的大小和分布特性是牙科医生诊断病人牙齿咬合状况的重要依据。正常和非正常牙齿的咬合具有不同的接触规律^[2]。

(1) 正常（牙合）者的咬合接触特征

①.全牙列咬合接触点数目的分布规律：正常全牙列咬合接触点从磨牙区至前磨牙区、尖牙区、切牙区呈依次递减分布。

②.全牙列咬合接触面积的分布规律：从磨牙区向前至切牙区，也呈依次递减分布，有明显的梯度变化。

③.全牙列的平均接触应力(单位面积所承受的接触力)，由前牙区至磨牙区虽然各有递减趋势，但其平均值较接近。

④.全牙列接触(合)力分布规律与接触面积的分布规律相一致，即接触面积越大，其接触力亦越大；由磨牙区向切牙区呈依次递减分布，有明显的梯度变化。

⑤.在牙弓两侧有对称性，同名牙之间有协调性。

(2) 创伤（牙合）者的咬合接触特征

创伤咬合患者的咬合接触及咬合接触力与咬合正常者的区别如下。

①.全牙列接触点数目分布显著不均匀，前牙区与后牙区梯度颠倒；个别前磨牙的接触点过多，接近或超过磨牙；亦可能有切牙组接触点数目过多的情况。

②.全牙列接触面积的分布违背正常规律：个别牙的咬合接触面积过大；牙列接触面积的近—远中梯度变化颠倒或前牙区接触面积过大。

③.全牙列各牙齿的接触力值违反由远中向近中递减的规律；前磨牙区或切牙区的接触力过大。

④.违反牙弓两侧同名牙对称、协调分布的规律。牙弓两侧的接触力或接触面积出现显著不对称，一侧过大(或过小)，或集中于某一区域(个别牙)。

1.2 国内外研究现状

咬合病的诊断目前临床仍多用一般纸、蜡或线等检查方法，仅能粗略地定性检查接触点的部位与数目，尚缺少一套科学、客观、高效且精确的检查手段与观察指标，更无法检测咬合接触时牙齿表面接触力的情况。后者的性质、状态与咬合病的发病机理有着密切关系^[2]。

80 年代以来，一些新的研究手段陆续被应用于咬合接触的研究，使对咬合接触的研究由定性观察发展到能够计算接触数目、面积、强度及位置变化的定量研究^[1]。

80 年代初，Arcan 和 Iandman 发明了光（牙合）法(Photocclusion)。该法采用特殊材料制成的光咬合片，经咬合后会发生一定的变形，透光性质发生相应改变，在偏振光镜下观察，可以看到因形变产生的折光率变化而呈现出不同颜色的区域。根据一定的换算公式可以准确地显示（牙合）接触点的数目、位置和不同颜色区域所承受咬合力的大小^[1]。

1984 年 Millstein 首次应用计算机图像分析系统定量研究咬合接触。首先指导受试者在标准体位时反复练习咬合，待其能够充分配合后，用硅橡胶在固定的咬合位置上采取咬合记录。将此咬合记录放在光源上方，录制图像。不同厚度部位的硅橡胶所透过的光密度不同，据此绘出二者的关系曲线。计算机根据硅橡胶厚度与透过的光密度值的关系确定不同硅橡胶记录部位的厚度，从而定量分析咬合接触情况。现在该系统已成为一种可全面研究咬合接触的较理想的方法^[1]。

80 年代中期出现了根据叩齿音特征，分析咬合接触情况的咬合音图仪。通过两个拾音装置，将受试者用力叩齿时在双侧颧弓处产生的声音记录下来，然后根据声波的幅度、频率、时程、双侧对称性等特征，分析咬合接触情况。个体的（牙合）音图(occlusogram)分析的重复性很好^[1]。

T-Scan 咬合测定分析仪是 90 年代逐渐被应用的一种咬合电子检查分析系统。该系统的传感器薄膜上有马蹄形的感应区，由多组特殊导线组成，置于牙列咬合面上。受试者咬合落在此范围内时，软件窗口中就会动态的给出整个咬合过程中各个位置咬合力的变化记录。该系统可监测咬合接触点的分布、咬合平衡状态以及咬合力的三维动态变化。国内王海涛^[11]也开发了类似 T-Scan 的检查咬合接触用的传感

器，研制了压电薄膜力传感器和实时牙齿位移测量的光纤位移传感器，建立了用于测量的数据采集和处理的计算机系统^[1]。

1.3 本论文主要内容和工作

基于上述研究，本论文将开发一个能够测量 16 对牙齿咬力分布的测量系统，系统包括阵列传感器、传感器信号的采集和处理及显示。本论文的主要研究工作：

1. 综合国内外的用于压力分布系统的传感器技术和原理，提出了用于牙齿咬力的传感器的原理，选择了用于传感器的材料。

2. 以一个医用牙齿模型为基础设计了一个测力阵列传感器，阐述了阵列传感器的设计方法和结构，在此基础上提出了牙齿压力分布测量系统的总体方案，即采用虚拟仪器技术构建测力系统。

3. 研究了智能传感器的非线性校正技术原理，并根据现有材料设计了一个校正工具，设计了阵列传感器的信号处理电路，用 MATLAB 对传感器的输出输入特性进行曲线拟合。

4. 用 LabVIEW 构建系统的软件部分，编制了数据采集模块和数据分析处理模块，探讨了虚拟仪器的抗干扰设计。用搭建的测力系统采集了医用牙齿模型在两种不同咬合情况下的压力分布情况，并将其显示出来，验证了设计的可行性。

5. 对系统的误差来源进行了分析讨论。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库